

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-76842  
(P2000-76842A)

(43)公開日 平成12年3月14日(2000.3.14)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)
G 1 1 C 11/14		G 1 1 C 11/14	A
11/15		11/15	

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 7 頁)

(21)出願番号	特願平11-230773	(71)出願人	398038580 ヒューレット・パカード・カンパニー HEWLETT-PACKARD COM PANY アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル ト ハノーバー・ストリート 3000
(22)出願日	平成11年8月17日(1999.8.17)	(72)発明者	マノジ・ケイ・バハッタチャルヤ アメリカ合衆国 カリフォルニア, キュー パーティーノ, パーム・アベニュー 22423
(31)優先権主張番号	0 9 / 1 4 0 9 9 2	(74)代理人	100073874 弁理士 萩野 平 (外4名)
(32)優先日	平成10年8月27日(1998.8.27)		
(33)優先権主張国	米国 (U S)		

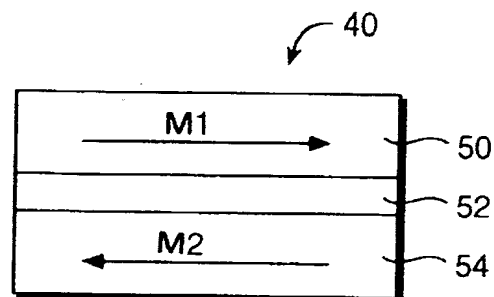
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気メモリ・セル

(57)【要約】

【課題】磁気メモリ・セルに対する読み取り操作中に得られる信号を増強する。

【解決手段】 磁気メモリ・セル40は、データ記憶層50、基準層54およびトンネル・バリヤ52を備えている。磁気メモリ・セル40の論理状態は、磁化容易軸に沿った磁化とデータ記憶層50のエッジ・ドメインにおける磁化とによる寄与が含まれ、データ記憶層50において結果として生じる配向を示すベクトルM1と、データ記憶層50の磁化容易軸に対して軸を外した特定の方向に固定され、基準層54における磁化配向を示すベクトルM2との相対的配向に応じて異なる抵抗を測定することによって判定される。基準層54の軸を外した配向の角度は、磁気メモリ・セル40に対する読み取り操作中に得られる信号を強めるように選択されている。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】磁化容易軸を備えたデータ記憶層（50）と、  
磁化配向が前記磁化容易軸に対して軸を外した方向にピン止めされた基準層（54）とを備えていることを特徴とする磁気メモリ・セル。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気メモリに関し、より詳しくは、本発明は軸を外した配向（off-axis or 10  
orientation）の基準層を有する磁気メモリ・セルに関する。

## 【0002】

【従来の技術】磁気RAM（MRAM, magnetic random access ram）のような磁気メモリには、一般に、磁気メモリ・セルのアレイ（array）が含まれている。各磁気メモリ・セルは、通常、データ記憶層（data storage layer）および基準層（reference layer）を有する。一般に、磁気メモリ・セルの論理状態（logic state）は、データ記憶層および基準層における磁化の相対 20  
的な配向（orientation）によって決まる。

【0003】磁気メモリ・セルのデータ記憶層は、通常、変更可能な磁化状態を記憶する磁性材料の層または薄膜（film）である。一般に、これらの変更可能な磁化状態には、普通、データ記憶層の磁化容易軸（easy axis）と呼ばれるものに対して平行な方向に形成される磁化が含まれている。データ記憶層には、通常、その磁化容易軸に垂直なエッジ（edge）を含む、そのエッジ 30  
近くに形成される磁化も含まれている。垂直なエッジの近くに形成される磁化部分は、一般に、エッジ・ドメイン（edge domain）と呼ばれる。データ記憶層において結果生じる磁化の配向（以下、磁化配向という。）は、磁化容易軸に沿った磁化の影響（effect）と、エッジ・ドメインにおける垂直な磁化の影響との結果である。

【0004】磁気メモリ・セルの基準層は、通常、磁化が特定の方向に固定または「ピン止め（pinned）」される、磁性材料の層である。従来の磁気メモリ・セルの場合、基準層は、その磁化がデータ記憶層の磁化容易軸に平行な方向にピン止めされるように形成される。結果 40  
として、従来の磁気メモリ・セルの基準層における磁化配向は、一般に、データ記憶層の磁化容易軸に対して平行になる。

【0005】磁気メモリ・セルは、一般に、そのデータ記憶層における磁化配向がその基準層における磁化配向に対して平行であれば、低抵抗状態（low resistance state）にある。対照的に、磁気メモリ・セルは、一般に、そのデータ記憶層における磁化配向がその基準層における磁化配向に対して逆平行（antiparallel）であれば、高抵抗状態（high resistance state）にある。

【0006】従来の磁気メモリ・セルは、通常、ある方 50

2

向から別の方向に、データ記憶層における磁化配向をその磁化容易軸に沿って回転させる外部磁界を加えることによって書き込まれる。これによって、磁気メモリ・セルは、その高抵抗状態と低抵抗状態との間でスイッチ（switch）される。磁気メモリ・セルの論理状態は、読み取り操作中に、その抵抗を測定することによって判定することが可能である。

【0007】しかしながら、こうした磁気メモリ・セルにおけるエッジ・ドメインの影響によって、通常、データ記憶層に結果として生じる磁化配向が、その磁化容易軸から離れることになる。このため、通常は、磁気メモリ・セルの高抵抗状態と低抵抗状態との差が縮小され、読み取り操作中に得られる信号が減衰する。こうした信号の減衰により、MRAMにおけるビット・エラー・レート（bit error rate）が増大する。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来において、このようなエッジ・ドメインの影響を最小限に抑えるための解決策の1つとしては、その磁化容易軸に沿った方向に細長い矩形になるようにデータ記憶層を形成することにある。こうした構造では、通常、データ記憶層に結果生じる磁化配向に対する磁化容易軸の寄与が、エッジ・ドメインからの寄与に比べて大きくなる。しかしながら、こうした矩形構造は、書き込み操作中に、データ記憶層における磁化配向を反転するのにより多くのエネルギーを必要とし、このため、こうした構造を利用するMRAMにおける電力消費が増大する。さらに、こうした矩形の磁気メモリ・セルは、通常、MRAMによって得ることが可能なメモリ・セル全体の密度を制限するという問題点がある。

【0009】本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、磁気メモリ・セルに対する読み取り操作中に得られる信号を増強できる磁気メモリ・セルを提供することを目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本実施形態の磁気メモリ・セルは、磁化容易軸を備えるデータ記憶層と、磁化配向が磁化容易軸に対して軸を外した方向にピン止めされた基準層を備える。この構造によって、データ記憶層のエッジ・ドメインの影響にもかかわらず、磁気メモリ・セルに対する読み取り操作中に得られる信号が増強される。さらに、この構造によれば、正方形の構造を利用して高密度MRAM（high MRAM density）を実現することが可能になる。

## 【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態を図面を参照して説明する。図1は、データ記憶層50の磁化容易軸に対して軸を外した磁化配向の基準層54を備える磁気メモリ・セル40の基本構造の説明図である。データ記憶層50の磁化容易軸に対する基準層54

## 3

の軸を外した配向の程度または角度は、磁気メモリ・セル40に対する読み取り操作中に得られる信号を強めるように選択されている。

【0012】一実施態様において、磁気メモリ・セル40は、データ記憶層50と基準層54の間のトンネル・バリア（tunnel barrier）52を備えている。この磁気メモリ・セル40は、電荷が、読み取り操作中にトンネル・バリア52を通して移動することから、スピン・トンネリング・デバイス（spin tunneling device）と呼ぶ。トンネル・バリア52を介した電荷の移動は、スピン・トンネリングとして知られる現象に起因するものであり、読み取り電圧が磁気メモリ・セル40に印加された場合に生じる。代替実施形態では、磁気メモリ・セル40において、巨大磁気抵抗（GMR, giant magnet o-resistive）構造を利用することが可能である。

【0013】磁気メモリ・セル40の論理状態は、データ記憶層50および基準層54における相対的磁化配向に対応する。データ記憶層50における全体的な、または、結果として生じる配向は、ベクトルM1によって表示されている。ベクトルM1には、磁化容易軸に沿った磁化とデータ記憶層50のエッジ・ドメインにおける磁化とによる寄与（contribution）が含まれている。基準層54における磁化配向は、データ記憶層50の磁化容易軸に対して軸を外した特定の方向に固定されたベクトルM2によって表示されている。

【0014】ベクトルM1は、磁気メモリ・セル40の論理状態に従って変化する。ベクトルM1は、磁気メモリ・セル40と関連した導体を利用して、外部磁界を加えることによって操作される。これらの外部磁界は、磁化容易軸の磁化を含むデータ記憶層50における磁化方向およびエッジ・ドメインにおける磁化方向を反転または回転させるために加えられる。

【0015】磁気メモリ・セル40の論理状態は、ベクトルM1およびベクトルM2の相対的配向に応じて異なる抵抗を測定することによって判定される。磁気メモリ・セル40の抵抗は、読み取り電圧を印加し、結果生じるセンス電流（sense current）を測定することによって検出することが可能である。

【0016】図2は、磁気メモリ・セル40の基準層54の平面図である。基準層54の固定された磁化配向を表すベクトルM2も示されている。ベクトルM2は、x軸に対して角度 $\theta_0$ を形成する。ベクトルM2は、データ記憶層50の磁化容易軸がx軸に対して平行であるため、その軸から外れている。

【0017】角度 $\theta_0$ に基づく軸を外した磁化配向のベクトルM2は、さまざまな既知の技法を利用して実現可能である。例えば、基準層54は、パーマロイ層（per malloy layer）（NiFe）における磁化配向を角度 $\theta_0$ によって決まる方向にピン止めする反強磁性層（anti ferromagnetic layer）に結合されたパーマロイ層とす

## 4

ることが可能である。反強磁性材料は、鉄マンガ（FeMn）またはニッケル・マンガ（NiMn）とすることが可能である。反強磁性材料の代替材料には、NiO、TbCo、PtMn、および、IrMnが含まれる。

【0018】ベクトルM2の角度 $\theta_0$ は、1000エルステッド（oersted）の強磁界を所望のベクトルM2に対して平行な方向に加えて、磁気メモリ・セル40を200°Cの高温になるまで加熱することによって実現することが可能である。次に、この磁界にさらされた状態で磁気メモリ・セル40を冷却することによって、反強磁性材料における磁化配向が所望の角度 $\theta_0$ に平行な方向に固定される。アニーリングを施される反強磁性材料と基準層54のパーマロイ材料との間における磁気交換結合（magnetic exchange coupling）によって、ベクトルM2が所望の角度 $\theta_0$ にピン止めされる。

【0019】また、基準層54は、コバルト・プラチナ合金（cobalt platinum alloy）のような高保磁力（high coercivity）の材料とすることも可能である。基準層54に十分な強さの磁界を加えることによって、磁化配向のベクトルM2を所望の角度 $\theta_0$ に固定することが可能である。基準層54の比較的高い保磁力によって、磁気メモリ・セル40に対する書き込み操作中に加えられる外部磁界にさらされた状態におけるベクトルM2のスウィッチングが阻止される。

【0020】図3は、磁気メモリ・セル40の2つの論理状態に関するデータ記憶層50の磁化の説明図である。図3（A）には、磁気メモリ・セル40の第1の論理状態が示され、図3（B）には、第2の論理状態が示されている。ベクトル60は、x軸に対して平行な、データ記憶層50の磁化容易軸に沿った磁化を表している。1対のベクトル62および64は、データ記憶層50の垂直なエッジ・ドメインにおける磁化を表している。ベクトル62および64は、データ記憶層50の磁化容易軸に対して垂直で、y軸に対して平行である。

【0021】第1の論理状態において、ベクトル62および64で表されたエッジ・ドメインの磁界は、正のy方向であり、第2の論理状態において、エッジ・ドメインの磁界は、負のy方向である。従来技術におけるように、データ記憶層を細長くすることによってエッジ・ドメインの磁界の影響を最小限に抑えようとするのではなく、本実施形態の磁気メモリ・セル40では、読み取り操作中に得ることが可能な信号を強化する角度 $\theta_0$ を選択するために、エッジ・ドメインの磁界を考慮する。

【0022】図4は、磁気メモリ・セル40の2つの論理状態に関して結果生じるベクトルM1の説明図である。ベクトルM1は、データ記憶層50におけるベクトル60～64に対応する磁化の寄与を考慮している。図4（A）には、磁気メモリ・セル40の第1の論理状態に関して結果生じるベクトルM1が示され、図4（B）

5

には、第2の論理状態に関して結果生じるベクトルM1が示されている。

【0023】ベクトルM1は、外部から印加される磁界の寄与の下において2つの論理状態間で反転する。読み取り操作中に磁気メモリ・セル40から得られる信号は、角度 $\theta_0$ および $\theta_1$ がほぼ等しい場合に、最強になる。これによって、ベクトルM1が、略軸を外した角度 $\theta_0$ だけ回転し、ベクトルM2と平行または逆平行になる。

【0024】磁気メモリ・セル40は、エッジ・ドメインのベクトル62および64を正のy方向に反転する外部磁界を加え、磁化容易軸のベクトル60を正のx方向に反転する外部磁界を加えることによって、第1の論理状態になるように書き込まれる。この結果、図4(A)に示すように、x軸に対する角度が $\theta_1$ の、正のx方向および正のy方向のベクトルM1が生じる。

【0025】磁気メモリ・セル40は、エッジ・ドメインのベクトル62および64を負のy方向に反転する外部磁界を加え、磁化容易軸のベクトル60を負のx方向に反転する外部磁界を加えることによって、第2の論理状態になるように書き込まれる。この結果、図4(B)に示すように、x軸に対する角度が $\theta_1$ の、負のx方向および負のy方向のベクトルM1が生じる。

【0026】図5は、データ記憶層50の磁化容易軸に対して軸を外したベクトルM2の配向の影響の説明図である。これらの影響は、データ記憶層50の結晶異方性値(crystalline anisotropy value)(Hk)およびデータ記憶層50の厚さに応じて変動する。

【0027】図5(A)には、さまざまなHk値に関する角度 $\theta_0$ とデータ記憶層50の厚さとの関係が示されている。一連の曲線80~82は、それぞれ、5、20および100OeのHk値に関する最適なピン止め角 $\theta_0$ を示している。この曲線80~82は、データ記憶層50の所定の厚さ、および、データ記憶層50の所定のHk値に関する最適なピン止め角 $\theta_0$ を選択するために利用することが可能である。

【0028】図5(B)には、磁気メモリ・セル40から得られる読み取り信号と、曲線80~82を利用して選択された最適なピン止め角 $\theta_0$ におけるデータ記憶層50のさまざまなHk値に関するデータ記憶層50の厚さとの関係が示されている。一連の曲線90~92は、それぞれ、100、20および5OeのHk値を表している。

【0029】データ記憶層50の寸法dxおよびdyは、ほぼ等しくなるように選択されており、正方形を形成する。データ記憶層50を正方形にすると、MRAMで得ることが可能な密度が、矩形の磁気メモリ・セルを利用した場合に得ることが可能な密度に比べて高くなる。これは、所定の最小特徴サイズの場合、矩形の磁気メモリ・セルに比べて、正方形の磁気メモリ・セルのほ

6

うが、所定の基板の領域により多く形成することができることによる。

【0030】図6は、追加の磁気メモリ・セル41~43と共に磁気メモリ・セル40により構成される磁気メモリ・セルのアレイを有する磁気メモリ10の平面図である。磁気メモリ10には、磁気メモリ・セル40~43への読み取りおよび書き込みアクセスを可能にする導体20、21および30、31のアレイも含まれている。導体30、31は、上部の導体であり、導体20、21は、直交下部(orthogonal bottom)の導体である。磁気メモリ・セル40~43は、それぞれ、寸法dxおよびdyを備えている。

【0031】磁気メモリ・セル40~43の論理状態は、導体20、21および30、31に電流を通すことによって操作される。例えば、導体30に+x方向に電流を通すと、右手の法則に従って、データ記憶層50に+y方向に磁界( $H_{y+}$ )が発生する。導体30に-x方向に電流を通すと、データ記憶層50に-y方向に磁界( $H_{y-}$ )が発生する。同様に、導体20に+y方向に電流を通すと、データ記憶層50に+x方向に磁界( $H_{x+}$ )が発生し、一方、導体20に-y方向に電流を通すと、データ記憶層50に-x方向に磁界( $H_{x-}$ )が発生する。これらの誘導磁界 $H_{x+}$ 、 $H_{x-}$ 、 $H_{y+}$ および $H_{y-}$ を利用して、ベクトル60~64の方向を変更し、それによって、磁気メモリ・セル40の論理状態を変更することが可能である。

【0032】以下に本発明の実施の形態を要約する。

【0033】1. 磁化容易軸を備えたデータ記憶層(50)と、磁化配向が前記磁化容易軸に対して軸を外した方向にピン止めされた基準層(54)とを備えている磁気メモリ・セル。

【0034】2. 前記方向が、前記磁化容易軸に沿った前記データ記憶層(50)における磁化と、容前記易軸に対して垂直な前記データ記憶層(50)における1組の磁化との結果として生じるベクトルに対してほぼ平行である上記1に記載の磁気メモリ・セル。

【0035】3. 前記磁気メモリ・セルの論理状態が、前記磁化容易軸に沿った磁化と、前記磁化容易軸に対して垂直な磁化とを回転させる一連の外部磁界を加えることによって書き込まれる上記2に記載の磁気メモリ・セル。

【0036】4. 第1の論理状態が、前記基準層(54)における磁化配向のx成分に対してほぼ平行な方向まで、前記磁化容易軸に沿った磁化を回転させ、また、前記基準層(54)における磁化配向のy成分に対してほぼ平行な方向まで、前記磁化容易軸に対して垂直な磁化を回転させる一連の外部磁界を加えることによって書き込まれる上記2に記載の磁気メモリ・セル。

【0037】5. 第2の論理状態が、前記基準層(54)における磁化配向のx成分に対してほぼ逆平行な方

7

向まで、前記磁化容易軸に沿った磁化を回転させ、前記基準層(54)における磁化配向のy成分に対してほぼ逆平行な方向まで、前記磁化容易軸に対して垂直な磁化を回転させる一連の外部磁界を加えることによって書き込まれる上記2に記載の磁気メモリ・セル。

【0038】6. 前記方向が、前記データ記憶層(50)の厚さに基づいてあらかじめ選択される上記1に記載の磁気メモリ・セル。

【0039】7. 前記方向が、前記データ記憶層(50)の結晶異方性に基づいてあらかじめ選択される上記1に記載の磁気メモリ・セル。

【0040】8. 磁化容易軸を備えたデータ記憶層(50)と、磁化配向が前記磁化容易軸に対して軸を外した方向にピン止めされた基準層(54)とを各々有する磁気メモリ・セル(40~43)のアレイと、前記磁気メモリ・セル(40~43)への読み取りおよび書き込みアクセスを可能にする1組の導体(20および21, 30および31)とを備える磁気メモリ。

【0041】9. 前記方向が、前記磁化容易軸に沿ったデータ記憶層(50)における磁化と、前記磁化容易軸に対して垂直なデータ記憶層(50)における1組の磁化との結果として生じるベクトルに対してほぼ平行である上記8に記載の磁気メモリ・セル。

【0042】10. 磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つの論理状態が、導体(20および21, 30および31)を利用して一連の外部磁界を加えることにより書き込まれ、前記磁化容易軸に沿った磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つのデータ記憶層(50)における磁化を回転させ、また、前記磁化容易軸に対して垂直な磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つのデータ記憶層(50)における磁化を回転させる上記9に記載の磁気メモリ・セル。

【0043】11. 磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つの第1の論理状態が、導体(20および21, 30および31)を利用して一連の外部磁界を加えることにより書き込まれ、前記磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つの基準層(54)における磁化配向のx成分に対してほぼ平行な方向まで、前記磁化容易軸に沿った磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つのデータ記憶層(50)における磁化を回転させ、また、前記磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つの基準層(54)における磁化配向のy成分に対してほぼ平行な方向まで、前記磁化容易軸に対して垂直な磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つのデータ記憶層(50)における磁化を回転させる上記9に記載の磁気メモリ。

【0044】12. 磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つの第2の論理状態が、導体(20および21, 30および31)を利用して一連の外部磁界を加えることにより書き込まれ、前記磁気メモリ・セル(40

8

~43)の特定の1つの基準層(54)における磁化配向のx成分に対してほぼ逆平行な方向まで、前記磁化容易軸に沿った磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つのデータ記憶層(50)における磁化を回転させ、また、前記磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つの基準層(54)における磁化配向のy成分に対してほぼ逆平行な方向まで、前記磁化容易軸に対して垂直な磁気メモリ・セル(40~43)の特定の1つのデータ記憶層(50)における磁化を回転させる上記9に記載の磁気メモリ。

【0045】13. 前記方向が、前記データ記憶層(50)の厚さに基づいてあらかじめ選択される上記8に記載の磁気メモリ。

【0046】14. 前記方向が、前記データ記憶層(50)の結晶異方性に基づいてあらかじめ選択される上記8に記載の磁気メモリ・セル。

【0047】15. 磁気メモリ・セルのデータ記憶層(50)の磁化容易軸に対して軸を外した方向にピン止めされた磁化配向を有する前記磁気メモリ・セルの基準層(54)を形成する形成ステップを有する磁気メモリ・セル生成方法。

【0048】16. 前記基準層(54)の形成ステップは、前記磁化容易軸に沿ったデータ記憶層(50)における磁化と、前記磁化容易軸に対して垂直なデータ記憶層(50)における1組の磁化との結果として生じるベクトルに対してほぼ平行な方向にピン止めされた磁化配向を有する前記基準層(54)を形成するステップを有する上記15に記載の磁気メモリ・セル生成方法。

【0049】17. 前記基準層(54)の形成ステップは、前記データ記憶層(50)の厚さに基づいて方向を選択するステップを有する上記15に記載の磁気メモリ・セル生成方法。

【0050】18. 前記基準層(54)の形成ステップは、前記データ記憶層(50)の結晶異方性に基づいて方向を選択するステップを有する上記15に記載の磁気メモリ・セル生成方法。

【0051】19. 前記基準層(54)の形成ステップは、軸を外した方向に対して平行な方向において、前記基準層(54)に強い磁界を加えるステップと、前記基準層(54)を高温まで加熱するステップと、強い磁界にさらされた状態で前記基準層(54)を冷却し、前記基準層(54)の磁化配向を固定するステップとを有する上記15に記載の磁気メモリ・セル生成方法。

【0052】20. 前記基準層(54)の形成ステップは、保磁力の強い材料で前記基準層(54)を形成するステップと、前記基準層(54)に磁界を加えて、前記基準層(54)の磁化配向を軸を外した方向に固定するステップとを有する上記15に記載の磁気メモリ・セル生成方法。

【0053】

9

【発明の効果】本発明の磁気メモリ・セルによれば、磁気メモリ・セルに対する読み取り操作中に得られる信号を増強することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】データ記憶層の磁化容易軸に対して軸を外した磁化配向の基準層を備える磁気メモリ・セルの基本構造の説明図である。

【図2】磁気メモリ・セルの基準層の平面図である。

【図3】磁気メモリ・セルの2つの論理状態に関するデータ記憶層の磁化の説明図である。

【図4】磁気メモリ・セルの2つの論理状態に関して結\*

10

\*果生じるベクトルM1の説明図である。

【図5】データ記憶層の磁化容易軸に対して軸を外したベクトルM2の配向の影響の説明図である。

【図6】追加の磁気メモリ・セルと共に磁気メモリ・セルにより構成される磁気メモリ・セルのアレイを有する磁気メモリの平面図である。

【符号の説明】

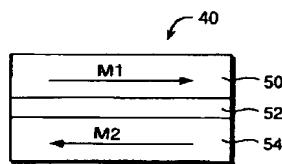
20, 21, 30, 31 導体

40, 41, 42, 43 磁気メモリ・セル

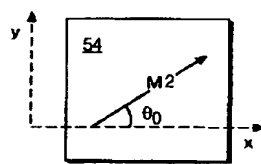
50 データ記憶層

54 基準層

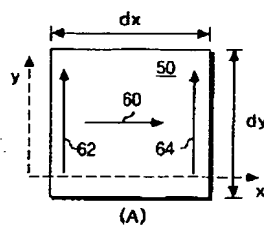
【図1】



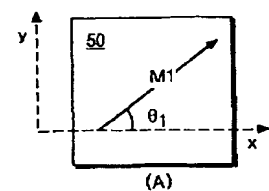
【図2】



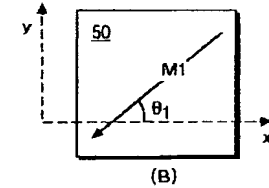
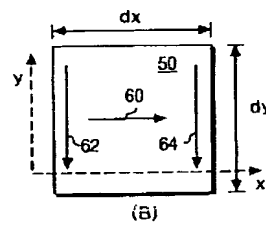
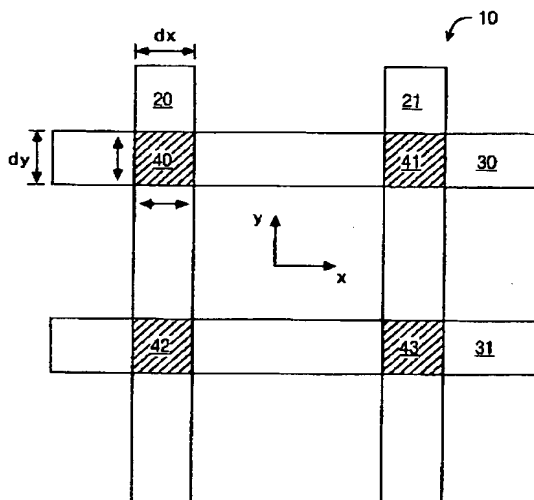
【図3】



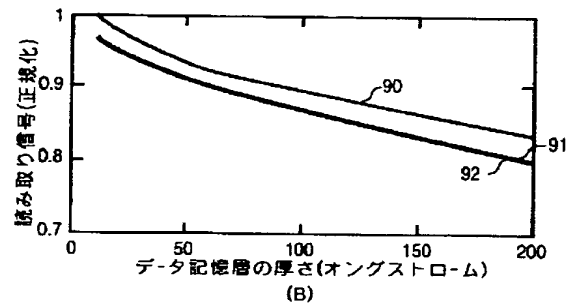
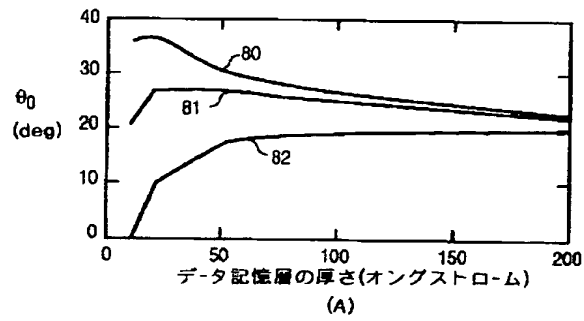
【図4】



【図6】



【図5】



フロントページの続き

(72) 発明者 ジェームズ・エー・ブルグ  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア、メンロ  
 ー・パーク、マルモナ・アベニュー 205